

5

Diffraktives Sicherheitselement mit integriertem optischen Wellenleiter

Die Erfindung bezieht sich auf ein diffraktives Sicherheitselement gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

- 10 Solche diffraktive Sicherheitselemente werden zum Beglaubigen von Gegenständen, wie Banknoten, Ausweisen aller Art, wertvollen Dokumenten usw., verwendet, um die Echtheit des Gegenstands ohne grossen Aufwand feststellen zu können. Das diffraktive Sicherheitselement wird bei der Ausgabe des Gegenstands in Form einer aus einem dünnen Schichtverbund geschnittenen Marke mit dem
15 Gegenstand fest verbunden.

Diffraktive Sicherheitselemente der eingangs genannten Art sind aus der EP 0 105 099 A1 und der EP 0 375 833 A1 bekannt. Diese Sicherheitselemente umfassen ein Muster aus mosaikartig angeordneten Flächenelementen, die ein Beugungsgitter aufweisen. Die Beugungsgitter sind azimutal so vorbestimmt
20 angeordnet, dass bei einer Drehung das durch gebeugtes Licht erzeugte, sichtbare Muster einen vorbestimmten Bewegungsablauf ausführt.

Die US 4,856,857 beschreibt den Aufbau transparenter Sicherheitselemente mit eingeprägten mikroskopisch feinen Reliefstrukturen. Diese diffraktiven Sicherheitselemente bestehen im allgemeinen aus einem Stück eines dünnen
25 Schichtverbunds aus Kunststoff. Die Grenzschicht zwischen zwei der Schichten weist mikroskopisch feine Reliefs von lichtbeugenden Strukturen auf. Zur Erhöhung der Reflektivität ist die Grenzschicht zwischen den beiden Schichten mit einer meist metallischen Reflexionsschicht überzogen. Der Aufbau des dünnen Schichtverbunds und die dazu verwendbaren Materialien sind beispielsweise in der
30 US 4,856,857 und der WO 99/47983 beschrieben. Aus der DE 33 08 831 A1 ist bekannt, den dünnen Schichtverbund mit Hilfe einer Trägerfolie auf einen Gegenstand aufzubringen.

Der Nachteil der bekannten diffraktiven Sicherheitselemente ist in der Schwierigkeit des visuellen Wiedererkennens von komplizierten, sich optisch
35 verändernden Mustern in einem engen Raumwinkel und der extrem hohen

- 5 Flächenhelligkeit begründet, unter denen ein mit einem Beugungsgitter belegtes
Flächenelement für einen Beobachter sichtbar ist. Die hohe Flächenhelligkeit kann
zudem die Erkennbarkeit der Form des Flächenelements erschweren.

Ein einfach zu erkennendes Sicherheitselement ist aus der WO 83/00395
bekannt. Es besteht aus einem diffraktiven subtraktiven Farbfilter, das bei
10 Beleuchtung mit z.B. Tageslicht in einer Betrachtungsrichtung rotes Licht reflektiert
und nach einer Drehung des Sicherheitselements in seiner Ebene um 90° Licht
einer anderen Farbe reflektiert. Das Sicherheitselement besteht aus in Kunststoff
eingebetteten, feinen Lamellen aus einem transparenten Dielektrikum mit einem
Brechungsindex, der viel grösser ist als der Brechungsindex des Kunststoffs. Die
15 Lamellen bilden eine Gitterstruktur mit einer Spatialfrequenz von 2500 Linien/mm
und reflektieren in der nullten Beugungsordnung rotes Licht mit einer sehr hohen
Effizienz, wenn das auf die Lamellenstruktur einfallende weisse Licht so polarisiert
ist, dass der E-Vektor des einfallenden Lichts parallel zu den Lamellen ausgerichtet
ist. Für Spatialfrequenzen von 3100 Linien/mm reflektiert die Lamellenstruktur in der
20 nullten Beugungsordnung grünes Licht, für noch höhere Spatialfrequenzen geht die
reflektierte Farbe im Spektrum in den blauen Bereich. Nach van Renesse, Optical
Document Security, 2nd Ed., pp. 274 - 277, ISBN 0-89006-982-4 sind solche
Strukturen in grossen Mengen schwierig kostengünstig herzustellen.

Die US 4,426,130 beschreibt transparente, reflektierende sinusförmige
25 Phasengitterstrukturen. Die Phasengitterstrukturen sind so ausgelegt, dass sie in
der einen der beiden ersten Beugungsordnungen eine möglichst grosse
Beugungseffizienz aufweisen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein kostengünstiges und einfach zu
erkennendes, diffraktives Sicherheitselement zu schaffen, das im Tageslicht einfach
30 visuell überprüfbar ist.

Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die im Kennzeichen des
Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der
Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Unteransprüchen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und
35 werden im folgenden näher beschrieben.

5 Es zeigen:

- Figur 1 ein Sicherheitselement im Querschnitt,
- Figur 2 Beugungsebenen und Beugungsgitter,
- Figur 3 einen vergrösserten Ausschnitt aus Fig. 1,
- Figur 4 ein anderes Sicherheitselement im Querschnitt,
- 10 Figur 5 Gittervektoren einer optisch wirksamen Struktur,
- Figur 6 eine Sicherheitsmarke in Draufsicht mit dem Azimut 0° und
- Figur 7 die Sicherheitsmarke in Draufsicht mit dem Azimut 90°.

In der Figur 1 bezeichnet 1 einen Schichtverbund, 2 ein Sicherheitselement, 3 ein Substrat, 4 eine Basisschicht, 5 einen optischen Wellenleiter, 6 eine

- 15 Schutzschicht, 7 eine Kleberschicht, 8 Indicia und 9 eine optisch wirksame Struktur an der Grenzschicht zwischen der Basisschicht 4 und dem Wellenleiter 5. Der Schichtverbund 1 besteht aus mehreren Lagen von verschiedenen, nacheinander auf eine hier nicht gezeigte Trägerfolie aufgebrachten dielektrischen Schichten und umfasst in der angegebenen Reihenfolge wenigstens die Basisschicht 4, den
- 20 Wellenleiter 5, die Schutzschicht 6 und die Kleberschicht 7. Für besonders dünne Schichtverbunde 1 bestehen die Schutzschicht 6 und die Kleberschicht 7 aus demselben Material, z.B. einem Heisskleber. Die Trägerfolie ist in einer Ausführungsform Teil der Basisschicht 4 und bildet eine Stabilisationsschicht 10 für eine auf der dem Wellenleiter 5 zugewandten Oberfläche der Stabilisationsschicht
- 25 10 angeordnete Abformschicht 11. Die Verbindung zwischen der Stabilisationsschicht 10 und der Abformschicht 11 weist eine sehr hohe Haftfestigkeit auf. Bei einer anderen Ausführungsform ist zwischen der Basisschicht 4 und der Trägerfolie eine hier nicht gezeigte Trennschicht angeordnet, da die Trägerfolie lediglich zum Applizieren des dünnen Schichtverbunds 1 auf das
- 30 Substrat 3 dient und danach vom Schichtverbund 1 entfernt wird. Die Stabilisationsschicht 10 ist z.B. ein kratzfester Lack zum Schützen der weicheren Abformschicht 11. Diese Ausführung des Schichtverbunds 1 ist in der eingangs erwähnten DE 33 08 831 A1 beschrieben. Die Basisschicht 4, der Wellenleiter 5, die Schutzschicht 6 und die Kleberschicht 7 sind wenigstens für einen Teil des
- 35 sichtbaren Spektrums transparent, vorzugsweise jedoch glasklar. Daher sind die auf

- 5 dem Substrat allfällig mit dem Schichtverbund 1 abgedeckten Indicia 8 durch den Schichtverbund 1 hindurch sichtbar.

In einer anderen Ausführungsform des Sicherheitselementes, bei der die Transparenz nicht erforderlich ist, ist die Schutzschicht 6 und/oder die Kleberschicht 7 eingefärbt oder schwarz. Eine weitere Ausführung des Sicherheitselementes weist
10 nur die Schutzschicht 6 auf, falls diese Ausführungsform nicht zum Aufkleben bestimmt ist.

Der Schichtverbund 1 wird als z.B. Kunststofflaminat in Form einer langen Folienbahn mit einer Vielzahl von nebeneinander angeordneten Kopien des Sicherheitselementes 2 hergestellt. Aus der Folienbahn werden die
15 Sicherheitselemente 2 beispielsweise ausgeschnitten und mittels der Kleberschicht 7 mit dem Substrat 3 verbunden. Das Substrat 3, meist in Form eines Dokuments, einer Banknote, einer Bankkarte, eines Ausweises oder eines anderen wichtigen bzw. wertvollen Gegenstandes, wird mit dem Sicherheitselement 2 versehen, um die Echtheit des Gegenstandes zu beglaubigen.

20 Damit der Wellenleiter 5 optisch wirksam wird, besteht der Wellenleiter 5 aus einem transparenten Dielektrikum, dessen Brechungsindex erheblich höher ist als die Brechungsindices der Kunststoffe für die Basisschicht 4, die Schutzschicht 6 und die Kleberschicht 7. Geeignete dielektrische Materialien sind beispielsweise in den eingangs erwähnten Schriften WO 99/47983 und US 4,856,857, Tabellen 1 und
25 6 aufgeführt. Bevorzugte Dielektrika sind ZnS, TiO₂ usw. mit Brechungsindices von $n \approx 2,3$.

Der Wellenleiter 5 schmiegt sich an die optisch wirksame Struktur 9 aufweisenden Grenzfläche zur Abformschicht 11 an und ist daher mit der optisch wirksamen Struktur 9 moduliert. Die optisch wirksame Struktur 9 ist ein
30 Beugungsgitter mit einer so hohen Spatialfrequenz f, dass das unter einem Einfallswinkel α zur Flächennormale 12 des Sicherheitselementes 2 einfallende Licht 13 vom Sicherheitselement 2 nur in die nullte Beugungsordnung gebeugt wird und das gebeugte Licht 14 unter dem Ausfallwinkel β reflektiert wird, wobei gilt:
Einfallswinkel $\alpha =$ Ausfallwinkel β . Damit ist für die Spatialfrequenz f eine untere
35 Grenze von etwa 2200 Linien/mm bzw. eine obere Grenze für eine Periodenlänge d von 450 nm festgelegt. Diese Beugungsgitter werden "Beugungsgitter nullter

- 5 "Ordnung" genannt und sind mit "Beugungsgitter" gemeint. Das Beugungsgitter weist in der Zeichnung der Figur 1 als Beispiel ein sinusförmiges Profil auf, jedoch sind auch andere bekannte Profile verwendbar.

Der Wellenleiter 5 beginnt seine Funktion zu erfüllen, d.h. das reflektierte Licht 14 zu beeinflussen, wenn der Wellenleiter 5 wenigstens 10 bis 20 Perioden der 10 optisch wirksamen Struktur 9 umfasst und daher eine minimale, von der Periodenlänge d abhängige Länge L von $L > 10d$ aufweist. Vorzugsweise liegt die untere Grenze der Länge L des Wellenleiters 5 im Bereich 50 bis 100 Periodenlängen d , damit der Wellenleiter 5 seine optimale Wirksamkeit entfaltet.

Das Sicherheitselement 2 weist in einer Ausführungsform auf seiner ganzen 15 Fläche ein uniformes Beugungsgitter für die optisch wirksame Struktur 9 und einen Wellenleiter 5 von gleichförmiger Schichtdicke s auf. In einer anderen Ausführungsform bilden mosaikförmig angeordnete Flächenteile ein optisch leicht erkennbares Muster. Damit ein Flächenteil des Mosaiks in seinen Umrissen für einen Beobachter mit den blossen Auge erkennbar ist, sind die Abmessungen 20 grösser als 0,3 mm zu wählen, d.h. der Wellenleiter 5 weist in jedem Fall eine genügende minimale Länge L auf.

Das mit weissem diffusen einfallendem Licht 13 beleuchtete Sicherheitselement 2 verändert die Farbe des reflektierten gebeugten Lichts 14, wenn seine Orientierung zur Beobachtungsrichtung mittels einer Kipp- oder 25 Drehbewegung verändert wird. Die Drehbewegung hat als Drehachse die Flächennormale 12, die Kippbewegung erfolgt um eine in der Ebene des Sicherheitselements 2 liegende Drehachse.

Die Beugungsgitter nullter Ordnung zeigen ein von der azimutalen Ausrichtung des Beugungsgitters abhängiges, ausgeprägtes Verhalten gegenüber polarisiertem 30 Licht 13. Für das Beschreiben der optischen Eigenschaften werden in der Figur 2 Beugungsebenen 15, 16 parallel und quer zu den Gitterlinien definiert, wobei die Beugungsebenen 15, 16 zudem die Flächennormale 12 auf das Sicherheitselement 2 (Fig. 1) enthalten. Die Bezeichnungen von Lichtstrahlen B_p , B_n des einfallenden Lichts 13 (Fig. 1) und von Richtungen der Polarisation des einfallenden Lichts 13 35 seien wie folgt festgelegt:

- Ein tiefgestelltes "p" bezeichnet den parallel zu Gitterlinien einfallenden

- 5 Lichtstrahl B_p , während ein tiefgestelltes "n" den senkrecht zu den Gitterlinien
einfallenden Lichtstrahl B_n bezeichnet;
- Ein tiefgestelltes "TE" beim Lichtstrahl B_p , B_n bedeutet eine Polarisation des
elektrischen Felds senkrecht zur entsprechenden Beugungsebene 15 bzw. 16 und
ein tiefgestelltes "TM" weist auf eine Polarisation des elektrischen Felds in der
10 entsprechenden Beugungsebene 15 bzw. 16 hin.
- Beispielsweise fällt der Lichtstrahl B_{nTM} in der Beugungsebene 16 senkrecht auf die
Gitterlinien des Sicherheitselementes 2 ein mit einer Polarisation des elektrischen
Felds in der Beugungsebene 16.

Je nach den Parametern der optisch wirksamen Struktur 9 und des
15 Wellenleiters 5 (Fig. 1) weisen die jeweiligen Ausführungsformen des
Sicherheitselementes 2 unterschiedliches optisches Verhalten auf. Derartige
Ausführungsformen werden in den nachfolgenden, nicht abschliessend aufgeführten
Beispielen beschrieben.

Beispiel 1: Farbwechsel bei Drehung

- 20 In der Figur 3 ist der Wellenleiter 5 im Querschnitt vergrössert dargestellt. Die
Kunststoffschichten, Stabilisationsschicht 10, die Abformschicht 11, die
Schutzschicht 6 und die Kleberschicht 7 (Fig. 1) weisen gemäss US 4,856,857,
Tabelle 6 Brechungsindices n_1 im Bereich von 1,5 bis 1,6 auf. Auf die in die
Abformschicht 11 eingebrachte optisch wirksame Struktur 9 wird das für sichtbares
25 Licht 13 (Fig.1) transparente Dielektrikum mit dem Brechungsindex n_2 in der
Schichtdicke s gleichmässig abgeschieden, so dass auf der Grenzfläche gegen die
Schutzschicht 6 die Oberfläche des Wellenleiters 5 ebenfalls die optisch wirksame
Struktur 9 aufweist. Das Dielektrikum ist eine anorganische Verbindung, wie sie z.B.
in der US 4,856,857, Tabelle 1 und in der WO 99/47983 erwähnt sind, und weist
30 einen Wert für den Brechungsindex n_2 von wenigstens $n_2 = 2$ auf.

In einer Ausführungsform des Sicherheitselementes 2 sind die Werte für die
Profiltiefe t der optisch wirksamen Struktur 9 und der Schichtdicke s etwa gleich;
d.h. $s \approx t$, wobei der Wellenleiter 5 mit der Periode $d = 370$ nm moduliert ist.
Vorzugsweise ist die Schichtdicke $s \approx t = 75 \pm 3$ nm. Fällt der in der einen
35 Beugungsebene 16 (Fig. 2) einfallende Lichtstrahl B_{nTE} unter einem Einfallswinkel
 $\alpha = 25^\circ$ auf das Sicherheitselement 2 ein, reflektiert das Sicherheitselement 2 das

- 5 gebeugte Licht 14 (Fig. 1) mit einer grünen Farbe. Vom orthogonal polarisierten
 Lichtstrahl B_{nTM} wird nur im infraroten, unsichtbaren Teil des Spektrums Licht 14
 reflektiert. Der in der anderen Beugungsebene 15 unter dem gleichen Einfallwinkel
 $\alpha = 25^\circ$ einfallende Lichtstrahl B_{pTM} verlässt das Sicherheitselement 2 als gebeugtes
 Licht 14 in roter Farbe, während das vom Lichtstrahl B_{nTE} erzeugte gebeugte Licht
 10 14 eine orange Mischfarbe mit einer im Vergleich zum reflektierten Licht 14 des
 Lichtstrahls B_{pTM} schwachen Intensität aufweist. Die Farbe des
 Sicherheitselementes 2 wechselt bei einer Beleuchtung mit weissem, unpolarisiert
 einfallendem Licht 13 für einen Beobachter von Grün auf Rot bei einer Drehung des
 Sicherheitselementes 2 um 90° . Das Kippen des Sicherheitselementes 2 im Bereich
 15 von $\alpha = 25^\circ \pm 5^\circ$ verändert die Farbe nur unwesentlich; die Veränderung ist mit dem
 blassen Auge kaum zu bemerken. Im Drehwinkelbereich $0^\circ \pm 20^\circ$ ist nur die rote
 B_{pTM} Reflexion, im Drehwinkelbereich $90^\circ \pm 20^\circ$ nur die grüne B_{nTE} Reflexion
 sichtbar. Im Zwischenbereich 20° bis 70° gibt es eine Mischfarbe aus zwei
 benachbarten Spektralbereichen, die eine für die Komponente von B_{nTE} , die andere
 20 für die Komponente von B_{pTM} .

Dieses Verhalten des Sicherheitselementes 2 ändert sich bis auf leichte
 Farbverschiebungen nicht wesentlich, wenn die Schichtdicke s des Wellenleiters 5
 zwischen 65 nm und 85 nm und die Profiltiefe t zwischen 60 nm und 90 nm variiert
 wird.

- 25 Ein Verkürzen der Periodenlänge d auf 260 nm bei anderen
 Ausführungsformen verschiebt die Farbe des gebeugten Lichts 14 bei einfallenden
 Lichtstrahl B_{nTE} von Grün nach Rot und bei einfallenden Lichtstrahl B_{pTM} von Rot
 nach Grün. Die vom Lichtstrahl B_{nTE} erzeugte Farbe Rot verändert sich beim Kippen
 des Sicherheitselementes 2 in Richtung kleinerer Winkel im Bereich von $\alpha = 20^\circ$ zu
 30 Orange.

Beispiel 2: Kippinvariante Farbe

- Eine andere Ausführungsform des Sicherheitselementes 2 zeigt ein vorteilhaftes
 optisches Verhalten, da bei der Beleuchtung mit weissem unpolarisierten Licht 13
 für kleine Kippwinkel, entsprechend dem Einfallwinkel zwischen $\alpha = 10^\circ$ und
 35 $\alpha = 40^\circ$, die Farbe des gebeugten Lichts 14 praktisch invariant bleibt. Die Parameter
 des Wellenleiters 5, die Schichtdicke s und die Profiltiefe t , sind hier durch die

- 5 Beziehung $s \approx 2t$ verknüpft. Beispielsweise ist die Schichtdicke $s = 115$ nm und die Profiltiefe $t = 65$ nm. Die Periodenlänge d der optisch wirksamen Struktur 9 beträgt $d = 345$ nm. Im angegebenen Bereich des Kippwinkels bei der Beleuchtung mit weissem unpolarisierten Licht 13 parallel zu den Gitterlinien der optisch wirksamen Struktur 9 weist das gebeugte Lichts 14 eine rote Farbe auf, zu der hauptsächlich
- 10 die Lichtstrahlen B_{PTM} beitragen. Bei einer Drehbewegung des Sicherheitselementes 2 um wenige Azimutwinkelgrade bleibt die reflektierte Farbe rot, bei weiter zunehmendem Drehwinkel werden symmetrisch zu Rot zwei Farben reflektiert, wovon sich die kurzwelligere Farbe in Richtung Ultraviolett verschiebt und die langwelligere Farbe rasch im infraroten Bereich verschwindet. Beispielsweise ist bei
- 15 einem Azimutwinkel von 30° die kurzwelligere Farbe ein Orange; die langwelligere Farbe ist für den Beobachter unsichtbar.

Beispiel 3: Farbwechsel beim Kippen

- Wird das Sicherheitselement 2 so gedreht, dass das einfallende Licht 13 senkrecht zu den Gitterlinien gerichtet ist, zeigt das Sicherheitselement 2 des Beispiels 2 beim
- 20 Kippen um eine Achse parallel zu den Gitterlinien des Beugungsgitters eine Farbverschiebung: beispielsweise erblickt der Beobachter die Fläche des Sicherheitselementes 2 bei senkrechtem Lichteinfall, d.h. beim Einfallswinkel $\alpha = 0^\circ$ in einem Orange, beim Einfallswinkel $\alpha = 10^\circ$ eine Mischfarbe aus etwa 67 % Grün und 33 % Rot und beim Einfallswinkel $\alpha = 30^\circ$ ein fast spektral reines Blau.

25 Beispiel 4: Drehinvarianter Farbwechsel beim Kippen

- Bei einer anderen Ausführungsform des Sicherheitselementes 2 besteht die optisch wirksame Struktur 9 aus wenigstens zwei sich kreuzenden Beugungsgittern. Die Beugungsgitter kreuzen sich mit Vorteil unter Kreuzungswinkel im Bereich 10° bis 30° . Jedes Beugungsgitter ist z.B. durch eine Profiltiefe t von 150 nm und eine
- 30 Periodenlänge von $d = 417$ nm bestimmt. Die Schichtdicke s des Wellenleiters 5 beträgt $s = 60$ nm, so dass die Parameter s und t des Wellenleiters 5 die Beziehung $t \approx 3s$ erfüllen. Bei der Beleuchtung mit weissem, unpolarisiertem einfallendem Licht 13 senkrecht zu den Gitterlinien des ersten Beugungsgitters gibt es beim Kippen um eine Achse parallel zu den Gitterlinien des ersten Beugungsgitters eine
- 35 Farbverschiebung, z.B. von Rot zu Grün oder umgekehrt. Dieses Verhalten bleibt

- 5 nach einer Drehung um den Kreuzungswinkel erhalten, da jetzt die Kippachse parallel zu den Gitterlinien des zweiten Beugungsgitters ausgerichtet ist.

Beispiel 5: Mit asymmetrischem Sägezahn-Reliefprofil

In der in der Figur 4 im Querschnitt gezeigten weiteren Ausführungsform des Sicherheitselementes 2 ist die optisch wirksame Struktur 9 eine Überlagerung des

- 10 Beugungsgitters nullter Ordnung mit dem Beugungsgittervektor 19 (Fig. 5) und mit einem asymmetrischen, sägezahnförmigen Reliefprofil 17 einer niedrigen Spatialfrequenz von $F \leq 200$ Linien/mm. Dies ist für eine Betrachtung des Sicherheitselementes 2 von Vorteil, da für viele Personen die Betrachtung der oben beschriebenen Sicherheitselemente 2 unter dem Reflexionswinkel β (Fig. 1) sehr 15 ungewohnt ist. Die höchste zulässige Spatialfrequenz F hängt von der Periodenlänge d (Fig. 3) der optisch wirksamen Struktur 9 ab. Nach den oben genannten Kriterien für eine gute Effizienz ist die Länge L des Wellenleiters 5 innerhalb einer Periode des Reliefprofils 17 wenigstens $L = 10d$ bis $20d$ vorzugsweise aber $L = 50d$ bis $100d$. Bei einer grössten Periodenlänge $d = 450$ nm 20 ist bei $L = 10d$ bzw. $20d$ die Spatialfrequenz F des Reliefprofils 17 demnach kleiner als $F = 1/L < 220$ Linien/mm bzw. 110 Linien/mm zu wählen.

Entsprechend der Höhe des Reliefprofils 17 bzw. einem Blazewinkel γ des Sägezahnprofils wird bei der Beleuchtung des Sicherheitselementes 2 mittels unter dem zur Flächennormale 12 gemessenen Einfallswinkel α einfallenden Lichtes 13

- 25 das gebeugte Licht 14 unter einem grösseren Ausfallwinkel β_1 reflektiert. Das einfallende Licht 13 fällt unter dem Winkel $\gamma + \alpha$ zur Senkrechten 18 auf die wegen des Reliefprofils 17 geneigte Ebene des Wellenleiters 5 ein und wird als gebeugtes Licht 14 unter dem gleichen Winkel zur Senkrechten 18 reflektiert. Der auf die Flächennormale 12 bezogene Ausfallwinkel β_1 beträgt $\beta_1 = 2\gamma + \alpha$. Der Vorteil 30 dieser Anordnung ist ein erleichtertes Betrachten des vom Sicherheitselement 2 erzeugten, optischen Effekts. Hier ist anzumerken, dass in der Zeichnung der Figur 4 die Refraktion in den Materialien des Schichtverbunds 1 (Fig. 1) vernachlässigt ist. Unter der Berücksichtigung der Refraktionseffekte im Schichtverbund 1 sind Periodenlängen d bis ca. $d = 500$ nm für die Sicherheitselemente 2 verwendbar, da 35 bei dieser Periodenlänge selbst die Blauanteile des in die ersten Ordnungen gebeugten Lichts 14 wegen Totalreflexion den Schichtverbund 1 (Fig. 1) nicht

- 5 verlassen können. Der Blazewinkel γ weist einen Wert aus dem Bereich von $\gamma = 1^\circ$ bis $\gamma = 15^\circ$ auf.

Die Figur 5 zeigt die optisch wirksame Struktur 9, die eine Überlagerung des Beugungsgitter mit einem asymmetrischen, sägezahnförmigen Reliefprofil 17 ist. Die azimutale Orientierung des Beugungsgitters ist mittels dessen

- 10 Beugungsgittervektor 19 festgelegt. Die Reliefstruktur 17 weist die durch den Reliefvektor 20 angegebene azimutale Orientierung auf. Die optisch wirksame Struktur 9 ist durch einen weiteren Parameter definiert, einen vom Beugungsgittervektor 19 und vom Reliefvektor 20 eingeschlossenen Azimutdifferenzwinkel ψ . Bevorzugte Werte für den Azimutdifferenzwinkel sind
15 $\psi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ usw.

Ganz allgemein sind diesen Sicherheitselementen 2 (Fig. 3) eine hohe Beugungseffizienz von fast 100% wenigstens für eine Polarisation eigen. Der wichtigste Parameter des Sicherheitselementes 2 für das Farbverschiebungsvermögen ist die Periodenlänge d (Fig. 3). Die Schichtdicke s (Fig. 3) des Wellenleiters und die Profiltiefe t (Fig. 3) sind für die Dielektrika ZnS und TiO₂ nicht so kritisch und beeinflussen die Beugungseffizienz und die exakte Lage der Farbe im sichtbaren Spektrum nur gering, beeinflussen jedoch die spektrale Reinheit des reflektierten gebeugten Lichts 14 (Fig. 4).

- 20 Für diese Sicherheitselemente 2 sind die Parameter nach der Tabelle 1
25 verwendbar.

Der Parameter Periodenlänge d bestimmt die Farbe des in die nulle Ordnung reflektiert gebeugten Lichts 14. Eine Veränderung des Parameters Schichtdicke s des Wellenleiters 5 (Fig. 4) beeinflusst hauptsächlich die spektrale Reinheit der Farbe des gebeugten Lichts 14 und verschiebt die Lage der Farbe im Spektrum in einem geringen Ausmass. Die Profiltiefe t beeinflusst die Modulation des Wellenleiters 5 und damit dessen Wirkungsgrad. Abweichungen von $\pm 5\%$ von den in den Beispielen angegeben Werten für d , s , t und ψ beeinflussen die beschriebenen optischen Effekte für das blosse Auge nicht merklich. Diese grosse Toleranz erleichtert die Fabrikation des Sicherheitselementes 2 erheblich.

5 Tabelle 1:

Parameter (in Nanometer)	Grenzwertbereich		Vorzugsbereich	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Periodenlänge d	100	500	200	450
Profiltiefe t	20	1000	50	500
Schichtdicke s	5	500	10	100

In den Figuren 6 und 7 ist eine Ausführungsform des Sicherheitselements 2 (Fig. 3) gezeigt, auf dessen Fläche eine Kombinationen einer Vielzahl von Teilflächen 21, 22 angeordnet ist. Die Teilflächen 21, 22 enthalten Wellenleiter 5 (Fig. 3) und unterscheiden sich in der optisch wirksamen Struktur 9 (Fig. 3) und in der azimutalen Orientierung des Beugungsgittervektors 19 (Fig. 5). Technisch schwierig zu realisieren sind im Schichtverbund 1 (Fig. 1) Unterschiede in der Schichtdicke s der Wellenleiter 5; diese sind aber hier ausdrücklich nicht ausgeschlossen. Aus dem Schichtverbund 1 ist eine Marke 23 ausgeschnitten und auf das Substrat 3 aufgeklebt. Im gezeigten Beispiel weist die Marke 23 zwei Teilflächen 21, 22 auf. Zur Illustration ist in der Figur 6 das Sicherheitselement 2 des vorstehend beschriebenen Beispiels 1 eingesetzt, wobei die Orientierung des Beugungsgittervektors 19 (Fig. 5) der ersten Teilfläche 21 orthogonal zum Beugungsgittervektor 19 der zweiten Teilfläche 22 ist. Die Beobachtungsrichtung ist in einer die Flächennormale 12 enthaltenden Ebene, deren Spur in der Zeichenebene der Figuren 6 und 7 mit der gestrichelten Linie 24 angegeben ist. Für die erste Teilfläche 21 fällt das weisse, unpolarisierte einfallende Licht 13 (Fig. 1) senkrecht zu den Gitterlinien und bei der zweiten Teilfläche 22 das einfallende Licht 13 parallel zu den Gitterlinien unter dem Einfallswinkel $\alpha = 25^\circ$ ein. Der Beobachter erblickt daher die erste Teilfläche 21 in einer grünen Farbe und die zweite Teilfläche 22 in einer roten Farbe. Da der Schichtverbund 1 (Fig. 1) transparent ist, sind Indicia 8 des Substrats unter der Marke 23 erkennbar.

Nach einer Drehung des Substrats 3 mit der Marke 23 um einen Winkel von 90° , wie in der Figur 7 gezeigt, fällt das einfallende Licht 13 (Fig. 1) auf die erste Teilfläche 21 senkrecht zu den Gitterlinien des Beugungsgitters und auf die zweite Teilfläche 22 parallel zu den Gitterlinien ein, wie dies durch den Winkel zwischen Schraffierungen der Teilflächen 21, 22 und der Linie 24 in der Zeichnung der Figur 7 angedeutet ist. Durch das Drehen des Substrats 3 um 90° vertauschen sich die

- 5 Farben der Teilflächen 21, 22; d.h. die erste Teilfläche 21 erstrahlt in Rot und die zweite Teilfläche 22 in Grün.

Bei einer anderen Ausführungsform des Sicherheitselements 2 kann die Anordnung einer Vielzahl gleicher Teilflächen 21 auf der Marke 23 einen Kreisring bilden, wobei die Beugungsgittervektoren 19 auf das Kreisringzentrum ausgerichtet sind. Bei Betrachtungsrichtung längs eines Durchmessers des Kreisrings leuchten unabhängig von der azimutalen Lage des Substrats 3 die entferntesten ($0^\circ \pm 20^\circ$) und die nächstgelegenen ($180^\circ \pm 20^\circ$) Teilbereiche des Kreisrings in einer grünen Farbe und die am weitesten vom Durchmesser entfernten Bereiche bei $90^\circ \pm 20^\circ$ bzw. $270^\circ \pm 20^\circ$ des Kreisrings in einer roten Farbe auf. Dazwischen liegende Bereiche weisen die oben beschriebene Mischfarbe aus zwei benachbarten Spektralbereichen auf. Das Farbmuster ist gegenüber einer Drehung des Substrates 3 invariant und scheint sich relativ zu allfälligen Indicia 8 (Fig. 1) zu bewegen. Ein Kreisring mit gekrümmten Gitterlinien erzeugt den gleichen Effekt, wenn die Gitterlinien konzentrisch zum Mittelpunkt des Kreisrings angeordnet sind.

- 20 In einer weiteren Ausgestaltung der Figur 7 sind beispielsweise die Teilflächen 21, 22 auf einem Hintergrund 25 angeordnet. Die Teilflächen 21 und 22 enthalten die optisch wirksame Struktur 9 (Fig. 4) aus dem Beispiel 5, wobei der Reliefvektor 20 (Fig. 5) der einen Teilfläche 21 dem Reliefvektor 20 der anderen Teilfläche 22 entgegengesetzt ist. Die optisch wirksame Struktur 9 des Hintergrunds 25 besteht 25 nur aus dem Beugungsgitter, das nicht durch die Reliefstruktur 17 (Fig. 5) moduliert ist. Der Beugungsgittervektor 19 kann parallel oder senkrecht zu den Reliefvektoren 20 ausgerichtet sein; der Winkel γ (Fig. 5) kann durchaus auch andere Werte aufweisen.

- Selbstverständlich sind ohne Einschränkung alle vorstehend beschriebenen 30 Ausführungsformen der Sicherheitselemente 2 mit Vorteil kombinierbar, da die spezifischen, vom Azimut bzw. vom Kippwinkel abhängigen optischen Effekte durch die gegenseitige Referenzierung wesentlich auffälliger und daher leichter erkennbar sind.

- Schliesslich weisen andere Ausführungen des Sicherheitselements 2 auch 35 Feldanteile 26 (Fig. 6) mit Gitterstrukturen mit Spatialfrequenzen im Bereich von 300 Linien/mm bis 1800 Linien/mm und Azimutwinkel im Bereich 0° bis 360° auf, die in

- 5 den in der eingangs erwähnten EP 0 105 099 A1 und der EP 0 375 833 A1 beschriebenen Flächenmustern verwendet sind. Die Feldanteile 26 erstrecken sich über das Sicherheitselement 2 bzw. über die Teilflächen 21, 22, 25 und bilden eines der bekannten optisch variablen Muster, das sich beim Drehen oder Kippen unabhängig von den optischen Effekten der Wellenleiterstrukturen unter gleichen
- 10 Beobachtungsbedingungen vorbestimmt verändert. Der Vorteil dieser Kombination ist, dass die Flächenmuster die Fälschungssicherheit des Sicherheitselements 2 erhöhen.

5

PATENTANSPRÜCHE:

1. Diffraktives Sicherheitselement (2), das in Teilflächen (21; 22; 25) mit einer optisch wirksamen Struktur (9) von Grenzflächen eingebettet zwischen zwei Schichten eines Schichtverbunds (1) aus Kunststoff eingeteilt ist, wobei wenigstens die zu beleuchtende Basisschicht (4) transparent ist und die optisch wirksame Struktur (9) als Grundstruktur ein Beugungsgitter nullter Ordnung mit einer Periodenlänge (d) von höchstens 500 nm aufweist, dadurch gekennzeichnet,
10 dass in wenigstens einer der Teilflächen (21; 22; 25) zwischen der Basisschicht (4) und einer Kleberschicht (7) und/oder einer Schutzschicht (6) des Schichtverbunds (1) ein integrierter optischer Wellenleiter (5) aus einem transparenten Dielektrikum mit einer Schichtdicke (s) eingebettet ist, wobei die Profiltiefe (t) der optisch wirksamen Struktur (9) in einem vorbestimmten
15 Verhältnis zur Schichtdicke (s) steht.
2. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb einer Toleranz von $\pm 5\%$ die Profiltiefe (t) gleich der Schichtdicke (s) ist.
3. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch
25 gekennzeichnet, dass die Schichtdicke (s) Werte aus dem Bereich 65 nm bis 85 nm und die Profiltiefe (t) Werte aus dem Bereich 60 nm bis 90 nm aufweisen und dass für die Periodenlänge (d) ein Wert aus dem Bereich 260 nm bis 370 nm ausgewählt ist.
4. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
30 dass innerhalb einer Toleranz von $\pm 5\%$ die Profiltiefe (t) gleich der dreifachen Schichtdicke (s) ist.
5. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke (s) einen Wert von 60 nm, die Profiltiefe (t) einen Wert von 150 nm und die Periodenlänge (d) einen Wert von 417 nm aufweist und
35 dass jeder der Werte (d; s; t) mit einer Toleranz von 5 % behaftet ist.

- 5 6. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass innerhalb einer Toleranz von $\pm 5\%$ die Schichtdicke (s) gleich der
zweifachen Profiltiefe (t) ist.
7. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,
dass die Schichtdicke (s) mit 115 nm, die Profiltiefe (t) mit 65 nm und die
10 Periodenlänge (d) mit 345 nm gewählt ist und dass jeder der Werte (d; s; t) mit
einer Toleranz von 5 % behaftet ist.
8. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch
gekennzeichnet, dass die optisch wirksame Struktur (9) eine Überlagerung des
15 Beugungsgitters nullter Ordnung mit einer Reliefstruktur (17) ist, dass die
Reliefstruktur (17) eine Spatialfrequenz (F) kleiner als 220 Linien/mm und
einen Wert des Blazewinkels (γ) aus dem Bereich 1° bis 15° aufweist.
9. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,
dass eine Beugungsgittervektor (19) des Beugungsgitters nullter Ordnung und
ein Reliefvektor (20) der Reliefstruktur (17) einen Azimutdifferenzwinkel (ψ)
20 einschliessen, der einen der Werte 0° , 45° , 90° usw. aufweist.
10. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch
gekennzeichnet, dass das Dielektrikum einen Brechungsindex (n_2) von 2,3
aufweist.
11. Diffraktives Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass in den Teilflächen (21; 22; 25) Feldanteile (26)
25 mit Gitterstrukturen mit Spatialfrequenzen im Bereich von 300 Linien/mm bis
1800 Linien/mm und Azimutwinkeln im Bereich 0° bis 360° angeordnet sind.

5 **ZUSAMMENFASSUNG:**

Ein diffraktives Sicherheitselement (2) ist in Teilflächen eingeteilt, die eine optisch wirksame Struktur (9) an Grenzflächen eingebettet zwischen zwei Schichten eines Schichtverbunds (1) aus Kunststoff aufweist. Wenigstens die zu beleuchtende
10 Basisschicht (4) des Schichtverbunds (1) ist transparent. Die optisch wirksame Struktur (9) besitzt als Grundstruktur ein Beugungsgitter nullter Ordnung mit einer Periodenlänge von höchstens 500 nm. In wenigstens einer der Teilflächen ist ein integrierter optischer Wellenleiter (5) mit einer Schichtdicke (s) aus einem transparenten Dielektrikum zwischen der Basisschicht (4) und einer Kleberschicht
15 (7) des Schichtverbunds (1) und/oder einer Schutzschicht (6) des Schichtverbunds (1) eingebettet, wobei die Profiltiefe der optisch wirksamen Struktur (9) in einem vorbestimmten Verhältnis zur Schichtdicke (s) steht. Das Sicherheitselement (2) erzeugt bei der Beleuchtung mit weissem einfallendem Licht (13) in der nullten Beugungsordnung gebeugtes Licht (14) von hoher Intensität und intensiver Farbe.

20

(Fig. 1)

25